Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 451-472

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۴۷۲-۴۵۱

مقاله پژوهشی

تولید دونات فاقد شکر با جایگزینی توسط شیرین‌کننده‌های رژیمی استویا، اریتریتول و مالتودکسترین

حسن صباغی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

چکیده

دونات به‌واسطه ویژگی‌های ارگانولپتیک مناسب از پرمصرف‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می‌شود. امروزه با گسترش دیابت و تغییر سبک زندگی، مصرف‌کنندگان توجه زیادی به استفاده از مواد غذایی فاقد شکر و محصولات رژیمی نشان می‌دهند. بنابراین، در این پژوهش امکان‌سنجی تولید دونات فاقد شکر به‌عنوان یک محصول رژیمی با استفاده از جایگزین‌کننده‌های استویا، اریتریتول و مالتودکسترین مطالعه شد. برای این منظور، ابتدا مخلوط شیرین‌کننده فاقد کالری (استویا، اریتریتول و مالتودکسترین) طراحی شد. این مخلوط به جای شکر با نسبت صفر (شاهد)، ۵۰ (کم شکر) و ۱۰۰ درصد (فاقد شکر) در فرمولاسیون دونات و آیسینگ افزوده شد. بررسی خصوصیات کیفی شامل محتوی رطوبت، جذب روغن، دانسیته، رنگ و نسبت تخلخل و ارزیابی حسی برای دونات‌ها انجام گرفت. همچنین، خصوصیات کیفی ماندگاری دونات شامل ارزیابی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و عدم رشد کپک طی ۱۴ روز بررسی گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد ($p<0.05$). نتایج نشان داد که، جایگزینی ۱۰۰ درصد شکر در دونات از نظر حفظ خصوصیات کیفی موفقیت‌آمیز بود. خواص کیفی دونات با ۵۰ درصد جایگزینی (محصول کم شکر) مطلوب نبود. دونات فاقد شکر خواص کیفی (دانسیته، تخلخل، رنگ و ماندگاری) مناسبی در مقایسه با شاهد داشت. جذب روغن دونات فاقد شکر با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت و ارزیابی حسی آن نیز بسیار مطلوب بود. بنابراین از مخلوط شیرین‌کننده‌های فاقد کالری و کم کالری در این پژوهش می‌توان در تهیه دونات فاقد شکر بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: دونات، رژیمی، استویا، اریتریتول، مالتودکسترین.

مقدمه

دونات[2] یک ماده غذایی آردی رایج در منطقه آمریکای لاتین به‌خصوص در کلمبیا است. محصولات آردی به‌واسطه ویژگی‌های ارگانولپتیک مناسب از پرمصرف‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان محسوب می‌شوند. فرآورده دونات مخلوطی بر پایه نشاسته ذرت، نشاسته کاساوا، پنیر، آب یا شیر است و علاوه بر این می‌تواند شامل آرد، مخمر، تخم‌مرغ، نمک و شکر نیز باشد که تشکیل یک توده پایدار و همگن را می‌دهد و به‌صورت حلقه‌هایی با غوطه‌ورشدن در روغن سرخ می‌شوند. پس از سرخ‌کردن؛ قطعاتی با رنگ طلایی با پوسته ترد و هسته اسفنجی نرم به‌وجود می‌آید که اغلب به‌صورت سریع بایستی مصرف شوند؛ زیرا فرآیندهای مربوط به کهنگی بلافاصله پس از سرخ‌کردن شروع می‌شوند و منجر به بروز سختی و سفتی در دمای اتاق خواهند شد. فرآیندهای مربوط به مخلوط‌کردن خمیر شامل فاکتورهای جذب آب، دما و زمان در ایجاد یک توده خمیری مناسب اهمیت فراوانی دارند (Correa et al., 2018). دونات‌ها در بسیاری از کشوها مورد توجه مصرف‌کنندگان هستند و اگرچه آرد و روش تولید آن در کشورهای مختلف تفاوت‌هایی دارد اما به‌طور کلی با پوسته بیرونی ترد به رنگ قهوه‌ای-طلایی[3] و هسته کیک مانند شناخته می‌شوند (Nsabimana *et al.*, 2018). دونات‌ها در دو نوع عمده وجود دارند: خمیرمایه[4] مخمری و خمیرمایه شیمیایی. دونات‌هایی با خمیرمایه شیمیایی به نام دونات کیکی[5] نیز شناخته می‌شوند. دونات‌های با خمیرمایه مخمری روغن بیشتری در مقایسه با دونات‌های خمیرمایه شیمیایی جذب می‌کنند، که علت آن سرخ شدن در مدت زمان طولانی‌تر می‌باشد. اگرچه لازم به ذکر است که روغن افزودنی نیز در خمیره دونات‌های شیمیایی وجود دارد (Shih *et al.*, 2001).

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(*-نویسنده مسئول: Email: hassansabbaghi@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87575

2 Doughnut
3 Golden-brown
4 Leavened
5 Cake doughnut

امروزه تغییر شکل زندگی جوامع و با توجه به اهمیت مصرف فرآورده‌های رژیمی و کم کالری و علاقه‌مندی به تغذیه مناسب باعث شده است تا مصرف‌کنندگان مواد غذایی تمایل کمتری نسبت به چربی، قند و کالری نشان دهند. بنابراین تقاضای مصرف غذاهای کم کربوهیدارت[1] رو به افزایش است (Parsons *et al*., 2013). بنابراین صنعت غذا به‌عنوان یکی از مهمترین صنایع در ارتباط با جامعه، موظف به تولید مواد غذایی با کمترین احتمال ایجاد خطر در مصرف‌کننده می‌باشد و بایستی روز به روز در زمینه ترکیبات مختلف و افزودنی‌های کاربردی در موادغذایی آگاهی لازم را کسب کند. از طرفی، صنعت غذا برای بازطراحی[2] مواد غذایی سنتی با هدف دستیابی به ارزش غذایی بهینه با چالش رو به رو است. زیرا کاهش میزان شکر و چربی در سیستم‌های کیکی خواص حسی و ساختاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Rodríguez-García *et al*., 2014). اگرچه مصرف‌کنندگان تمایل به مواد غذایی سالم دارند اما بایستی توجه داشت که ارزیابی حسی آن‌ها از ماده غذایی از عوامل مهم در تجاری‌سازی محصولات است (Dueik *et al*., 2014).

شیرین‌کننده‌هایی که می‌توانند در محصولات نانوایی به‌کار روند را بر اساس منشاء (شیرین‌کننده طبیعی و مصنوعی) و براساس محتوی انرژی آن‌ها می‌توان طبقه‌بندی کرد. طبقه‌بندی براساس انرژی شامل دو گروه می‌شود: عوامل به شدت شیرین‌کننده فاقد-انرژی[3] و شیرین‌کننده‌های کاهش‌دهنده انرژی بر مبنای کربوهیدارت‌ها[4] مانند مونو یا دی‌ساکاریدها و پلی‌ال‌ها مانند شیرین‌کننده‌های حجمی[5] (Struck *et al*., 2014). در محصولات نانوایی، شیرین‌کننده‌ها نقش مهمی در تامین رطوبت، شیرین‌کنندگی، ایجاد بافت و افزایش عمرماندگاری محصول دارند (Mariotti and Alamprese, 2012). براساس استاندارد محصولات فاقد شکر با پلی‌ال‌ها می‌تواند با این ادعا برچسب‌گذاری شوند که "موجب تخریب دندان نمی‌شوند[6]" یا "فاقد شکر" یا "انرژی کاهش‌یافته" هستند. در اتحادیه اروپا سطح انرژی حداقل باید ۳۰ درصد پایین‌تر از محصولات معمول باشد (Anonymous, 2006). عامل جایگزین بایستی شیرینی مشابه شکر را فراهم نماید. همچنین بایستی بی رنگ، بدون بو و غیربیماری‌زا باشد و پروفایل طعمی آن مشابه با ساکارز به‌عنوان مرجع باشد. اگر چنین شیرین‌کننده‌ای به‌صورت فرآیندی تا حد زیادی شباهت به ساکارز داشته باشد، احتمال موفقیت امکان‌سنجی آن برای کاربردهای صنعتی بیشتر خواهد بود (Nabors, 2012). شیرین‌کننده‌هایی که قصد جایگزینی آن‌ها در برابر ساکارز وجود دارد بایستی محلول در آب باشند، عطر و طعم کافی داشته باشند و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند. همچنین این ترکیبات بایستی از قوانین ملی و بین‌المللی تبعیت کنند (Gomez, 2008). استفاده از شیرین‌کننده‌های جایگزین موجب کاهش میزان کالری مواد غذایی می‌شود و می‌تواند در تامین نیازهای افراد دیابتی مفید باشد (Kaur, 2018). استفاده از الکل قندها و جایگزین‌های شکر مانند استویا در محصولات نانوایی در بیشتر کشورها مجاز است (Nelson, 2000).

استویا[7] که از استویول[8] و گلیکوزیدها تشکیل شده است در برابر حرارت و pH مقاوم است و قابل تخمیر نیست. بنابراین مقدار آن به نحوی بایستی انتخاب شود که اثری روی پخت نداشته باشد. در مقابل شیرین‌کننده حاوی دکستروز و مالتودکسترین نیز مقاوم به حرارت است و می‌تواند پخت روی آن موثر باشد و خواص کیفی تخمیر را حفظ نماید (Kaur, 2018). شیرین‌کننده استویوزید[9] یا استویا، که ترکیبی با منشا طبیعی است، در بسیاری از کشورها مورد استقبال خوبی قرار گرفته است. استویا گیاهی چند ساله و بومی نواحی شمالی آمریکای جنوبی (پاراگوئه) است. استویوزید ماده موثره موجود در برگ استویا جزء خانواده دی‌ترپن[10] است که شیرینی معادل ۱۰۰ تا۳۰۰ برابر شکر دارد و میزان کالری آن صفر است. استویوزید به‌عنوان فراوان‌ترین ترکیب شیرین‌کننده ۵ تا ۱۰ درصد وزن برگ خشک را شامل می‌شود. استویا در برخی از کشورها، مانند ژاپن، برای چندین دهه به‌عنوان یک شیرین‌کننده استفاده می‌شود. جایگزینی شیرین‌کننده استویا به جای شکر در فرمولاسیون، علاوه بر اینکه موجب ایجاد طعم شیرین و خوشایندی در این محصول می گردد، از طریق کاهش اندیس پراکسید چربی نیز موجب بهبود کیفیت و افزایش عمر ماندگاری محصول می‌شود و تولید فرآورده رژیمی را به همراه خواهد داشت. تحقیقات دندانپزشکی نشان می‌دهد که مصرف محصولات حاوی استویا رشد میکروارگانیسم‌های دهانی را متوقف می‌نماید (Grenby, 1991; Gasmalla *et al*., 2014; Shahidi Noghabi *et al*., 2016). استویا به دلیل پایداری مناسب در دماهای بالا، یک افزودنی کاربردی در صنایع پخت با ایجاد احساس دهانی مطلوب می‌باشد (Savita *et al*., 2004).

به‌منظور کاربرد استویا در محصولات به‌عنوان جایگزین شکر جهت حفظ نسبت‌های فرمولاسیون بایستی از پرکننده‌هایی از جمله شیرین‌کننده‌های کم کالری مانند اریتریتول[11] و مالتودکسترین بهره

1 Low-carb foods
2 Redesign
3 Energy-free highintensity sweetening agents
4 Carbohydrate-based reduced energy sweeteners
5 Bulk sweeteners
6 Does not promote tooth decay

7 Stevia
۸ Steviol
۹ Stevioside
۱۰ Diterpene
۱۱ Erythritol

گرفت. اریتریتول جزء پلی‌ال‌ها[۱] است که از گلوکز به کمک فرآیند تخمیر به‌دست می‌آید و به‌عنوان شیرین‌کننده‌های حجمی شناخته می‌شوند. پلی‌ال‌ها مقدار انرژی کمتری را در مقایسه با ساکارز در حجم یکسان فراهم می‌کنند و موجب ایجاد ساختار، مزه و جرم در خمیر می‌گردند (Ghosh and Sudha, 2012; Lin *et al*., 2010). اریتریتول یک قند الکل چهار کربنی با شیرینی متغیر ۰/۶ تا ۰/۸ نسبت به ساکارز است و به همین دلیل از آن با اختلاط با استویا به منظور ایجاد شیرینی مشابه با ساکارز در تولید فرآورده‌ها استفاده می‌گردد. اریتریتول برای دستیابی به غذاهای عملگرا[۲] بسیار مناسب است، زیرا تحمل هضم بالایی[۳] دارد و غیرکالری‌زا[۴]، غیربیماری‌زا[۵] و غیرگلایسمیک[۶] (مفید برای افراد دیابتی، ایجاد احساس سیری طولانی‌تر، تاثیر مناسب بر سیستم ایمنی بدن) است و همچنین خواص آنتی‌اکسیدانی و سلامت‌بخشی دارد (Storey et al., 2007). عدم وجود گروهای آلدو[۷] و کتو[۸] در پلی‌ال‌ها موجب می‌شود که این ترکیبات در واکنش قهوه‌ای‌شدن مایلارد[۹] در حضور آمینواسیدها شرکت نکنند. پلی‌ال‌ها در مقایسه با ساکارز مزیت‌های فراوانی دارند، زیرا توسط میکروارگانیسم‌های دهانی به سختی متابولیزه می‌شوند یا اصلاً متابولیزه نمی‌شوند (Ghosh and Sudha, 2012). علاوه بر این اریتریتول دارای خواص آنتی‌اکسیدانی نیز می‌باشد. به‌طور کلی اریتریتول برای محصولات نانوایی بسیار مناسب است اما با این وجود برخی مشکلات برای کاربرد آن به تنهایی توسط پژوهشگران ذکر شده است. به‌عنوان مثال هنگامی که اریتریتول با چربی‌ها مانند کره ترکیب می‌گردد، اثر سرمایش[۱۰] می‌تواند بافت مومی[۱۱] را به وجود آورد. یکی دیگر از مشکلات احتمالی اریتریتول این است که آب جذب نمی‌کند و این امر باعث می‌شود تا محصولات نانوایی پخته‌شده با الکل قند زودتر خشک شوند. همچنین اریتریتول تمایل به تبلور دارد (Lin *et al*., 2010).

پژوهشگران کاربرد مالتودکسترین در کاهش شیرینی، بدون کاسته‌شدن از محتوی مواد جامد کل، را در تولید محصولات غذایی مناسب دانستند (Kennedy *et al*., 1995). مالتودکسترین با DE برابر با ۱۰ با نام تجاری اینامالت ۱۱۰[۱۲] شناخته می‌شود که پودر سفید رنگی است که با هیدرولیز آنزیمی از سوسپانسیون نشاسته ژلاتینه‌شده به‌دست می‌آید و به عنوان پرکننده[۱۳]، حامل و عامل حجم‌دهنده[۱۴] در محصولات شیرینی‌سازی، دسرها، محصولات نانوایی و محصولات گوشتی به‌کار می‌رود (Sajilata and Singhal, 2005). ژل حاوی مالتودکسترین می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی خواص حسی مشابهی را ایجاد نماید (Mielea *et al*., 2015).

در زمینه کاربرد استویا در دونات تحقیقاتی انجام نشده است و تنها در پژوهشی در داخل ایران استفاده از استویا در دونات مطالعه شده است. Shahidi Noghabi و همکاران (۲۰۱۶) اثر شیر خشک و شیرین‌کننده استویا را روی میزان آکریل آمید و خصوصیات شیمیایی فرآورده دونات بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزودن شیر خشک به فرمولاسیون دونات، درصد رطوبت، درصد پروتئین، قند کل، قند احیاء و آکریل آمید افزایش و درصد قند غیراحیا و تیرگی در محصول کاهش یافت. همچنین نوع شیرین‌کننده از عوامل بسیار مهم در تشکیل آکریل آمید می‌باشد و با جایگزین کردن شکر با استویا، مقدار آکریل آمید در محصول نهایی کاهش یافت. در رابطه با جایگزینی شکر در سایر محصولات نانوایی مانند کوکی، کیک و بیسکویت پژوهش‌های بیشتری انجام شده است (Zoulias *et al*., 2000; Zoulias *et al*., 2002; Ronda *et al*., 2005; Savitha *et al*., 2008; Rodríguez-García *et al*., 2014; Chatchavanthatri *et al*., 2019). نتایج این تحقیقات نشان داده است که امکان‌سنجی جایگزینی شیرین‌کننده‌های فاقد کالری در محصولات نانوایی موفقیت‌آمیز خواهد بود. خصوصیات تکنولوژی مخلوط‌های شیرین‌کننده توانست تا حد زیادی به عملکردهای ساکارز شبیه باشد.

بنابراین در این پژوهش در مرحله اول مخلوط شیرین‌کننده فاقد کالری معادل با شکر طراحی شد و در مرحله دوم تولید دونات رژیمی بر پایه شیرین‌کننده‌های رژیمی استویا، اریتریتول و مالتودکسترین برای اولین بار در مقیاس صنعتی انجام گرفت. در نهایت با بررسی تاثیر میزان سطح جایگزینی شکر با مخلوط شیرین‌کننده بر روی خصوصیات کیفی شامل دانسیته و حجم، نسبت تخلخل، رنگ، ماندگاری و ارزیابی حسی، تولید دونات فاقد شکر با اهداف رژیمی امکان‌سنجی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه خمیر دونات

فرمولاسیون صنعتی تهیه خمیر دونات براساس جدول ۱ در نظر گرفته شد. تعداد دونات مورد نیاز ۲۰ عدد بود و بر همین اساس نسبت‌ها برای تهیه ۲۰۰۰ گرم خمیر محاسبه گردید. در پیش آزمون مشخص

---

۱ Polyol
2 Functional food
3 Digestive tolerance
4 Non-caloric
5 Non-cariogenic
6 Non-glycaemic
7 Aldo
8 Keto
۹ Maillard
۱۰ Cooling effect
۱۱ Waxy
12 Inamalt 110
۱۳ Filler
۱۴ Bulking agent

شد که میزان آب در فرمولاسیون شاهد (فاقد صمغ) بایستی ۱۲/۵ گرم بیشتر از حد تئوری مقیاس صنعتی یعنی برابر با ۴۵۸/۸۵۹ گرم باشد تا خمیر مناسبی را در مقیاس آزمایشگاهی بدست دهد.

آماده‌سازی مخلوط شیرین‌کننده رژیمی

برای این منظور، از مخلوط سه شیرین‌کننده استویا، اریتریتول و مالتودکسترین استفاده شد. مطابق با Daniels (۲۰۱۷) میزان شیرین‌کننده مورد استفاده برای ایجاد بهینه شیرینی معادل شکر با انجام پیش آزمون حسی مشخص گردید. به‌صورت تئوری مطابق با Savita و همکاران (۲۰۰۴) شیرینی یک گرم استویا در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب معادل با محلول حاصل از ۲۰ گرم ساکارز است. از آزمون عملی مشخص شد که اگر شیرینی ساکارز ۱۰۰ باشد شیرینی ترکیبات استویا، اریتریتول و مالتودکسترین (DE=10) به‌ترتیب ۳۰۰، ۷۰ و ۱۱ خواهد بود. بر این اساس میزان بهینه هر یک از شیرین‌کننده‌ها جهت دستیابی به مخلوط محاسبه شد به‌گونه‌ای که بتوان آن را به نسبت یک به یک شکر جایگزین نمود. بدین منظور ابتدا "مخلوط شیرین‌کننده" با شیرینی چهار برابر ساکارز طراحی شد تا با استفاده از پرکننده مالتودکسترین با دقت بیشتری نسبت شیرینی برابر با ساکارز حاصل شود. مشخص شد اگر ۴۶/۱۷۵ گرم استویا و ۱۹۷/۸۹۲ گرم اریتریتول با هم مخلوط و هموزن شود، مخلوطی با شیرینی چهار برابر ساکارز به‌دست می‌آید.

جدول ۱- فرمولاسیون معمول دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	تخم مرغ کامل هم‌زده	۴۰/۸۳۹
۲	آرد گندم	۱۲۳۴
۳	شکر	۱۳۸/۵۲۵
٤	خمیر مایه تر	۲۹/۱۶۱
۵	نمک طعام	۶/۵۳۲
٦	اسید سیتریک خوراکی خشک	۰/۶۱۶
۷	پروپیلن گلایکول	۱۶/۱۲۱
۸	بهبوددهنده و ژل دونات	۲۶/۹۶۸
۹	آب آشامیدنی	۴۴۶/۳۵۹+۱۲/۵
۱۰	روغن جامد	۶۰/۸۷۹
	مجموع (گرم)	۲۰۰۰+۱۲/۵

جایگزینی شکر در فرمولاسیون دونات

مطابق جدول ۲ با توجه به اینکه میزان شکر (S) مورد نیاز در ۲۰۰۰ گرم خمیر برابر با ۱۳۸/۵۲۵ گرم بود بایستی ۵۰ و ۱۰۰ درصد این میزان شکر در محصول با مخلوط شیرین‌کننده (B) جایگزین گردد (با سه نسبت [S:B] برابر با [۱۰۰:۰]، [۵۰:۵۰] و [۰:۱۰۰]). بدین منظور به میزان یک-چهارم جرم حذفی شکر از "مخلوط شیرین‌کننده" استفاده شد و مابقی با پرکننده (F) مالتودکسترین جبران گردید. در محاسبات برای در نظرگیری میزان شیرینی حاصل از جرم مالتودکسترین و دقت بیشتر؛ متناسب این شیرینی برحسب جرم ساکارز به‌دست آمد و سپس مجددا یک-چهارم این جرم ساکارز نیز از جرم "مخلوط شیرین‌کننده" کاسته شد و همان جرم (x) پرکننده (جبران مجدد جرم با پرکننده با شیرینی کم) به فرمولاسیون اضافه گردید.

جدول ۲- درجه جایگزینی شکر (S) با مخلوط شیرین‌کننده (B) و میزان پرکننده (F) در ۲۰۰۰ گرم خمیر

تیمار	F+x	B-x	S
S:B	مالتودکسترین (گرم)	اریتریتول+استویا (گرم)	شکر (گرم)
۱۰۰:۰	۰	۰	۱۳۸/۵۲۵
۵۰:۵۰	۵۱/۹۴۶+۱/۴۲۸	۱۷/۳۱۵-۱/۴۲۸	۶۹/۲۶۲
۰:۱۰۰	۱۰۳/۸۹۳+۲/۸۵۷	۳۴/۶۳۱-۲/۸۵۷	۰

تهیه آیسینگ

در دونات رژیمی یک آیسینگ بهینه حاصل از "مخلوط شیرین‌کننده" به‌جای شکر تولید شد. فرمولاسیون آیسینگ معمول به‌صورت جدول ۳ برای ۱۶۰ گرم آیسنگ بود. مقدار آیسینگ مصرفی برای هر دونات حدود ۸ گرم در نظر گرفته شد. در نهایت مجموع وزن آیسینگ و دونات در بسته‌بندی حدود ۵۵ گرم بود. همانند دونات نسبت

جایگزینی "مخلوط شیرین‌کننده" به جای شکر در آیسینگ نیز صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بود. وزن هر یک از اجزای جایگزین‌شده برای شکر در جدول ۴ نشان داده شده است. برای تهیه آیسینگ رژیمی از آب (W) به جای شربت آیسینگ با بریکس ۷۰ استفاده شد.

جدول ۳- فرمولاسیون معمول آیسینگ دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	پودر شکر	۱۰۸/۵۶۴
۲	شربت آیسینگ بریکس ۷۰	۴۷/۳۵۰
۳	نشاسته	۰/۹۲۳
٤	جوش شیرین	۰/۰۵۵
۵	روغن جامد	۳/۱۰۸
	مجموع (گرم)	۱۶۰

جدول ٤- درجه جایگزینی شکر (S) با مخلوط شیرین‌کننده (B) و میزان پرکننده (F) و آب (W) در ۱٦۰ گرم آیسینگ

تیمار	W	F+x	B-x	S
S:B	آب (گرم)	مالتودکسترین (گرم)	اریتریتول+استویا (گرم)	شکر (گرم)
۱۰۰:۰	–	۰	۰	۱۰۸/۵۶۴
۵۰:۵۰	۱۲	۴۰/۷۱۲+۱/۱۱۹	۱۳/۵۷۰-۱/۱۱۹	۵۴/۲۸۲
۰:۱۰۰	۱۴	۸۱/۴۲۳+۲/۲۳۹	۲۷/۱۴۱-۲/۲۳۹	۰

تهیه خمیر دونات

شکل ۱ تجهیزات تهیه خمیر دونات را نشان می‌دهد. برای مخلوط کردن نهایی و تولید خمیر از یک هم‌زن نیمه صنعتی (Xuzhong MACS Advertises Dough Mixer-Model Number: szm20) مطابق (شکل ۱- الف) و پروب مارپیچی مطابق (شکل ۱- ب) استفاده شد.

کفایت این مرحله با توجه به شکل کشسانی خمیر در نظر گرفته می‌شود که بایستی کشش‌پذیری مناسبی تا ایجاد یک لایه نازک خمیر را داشته باشد. بدین منظور مقدار آب اضافی در خمیر حاوی شیرین‌کننده رژیمی (مازاد بر ۴۵۸/۸۵۹ گرم) و مدت زمان هم‌زدن اهمیت دارد که به‌صورت پیش‌آزمون برای فرمولاسیون‌ها محاسبه شد و در جدول (۵) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نصف زمان هم‌زدن روی دور کُند و نصف آن روی دور تند یا ضربه‌ای برآورد شد.



شکل ۱- تجهیزات تهیه خمیر دونات (الف) هم‌زن نیمه صنعتی (ب) پروب هم‌زن

ورز دادن و قالب‌گیری خمیر

طی ورز دادن خمیر از وردنه و یک صفحه پلاستیکی استفاده شد. ابتدا روی صفحه پلاستیکی مقداری آرد پاشیده شد و سپس خمیر توسط وردنه به‌صورت لایه‌ای با ضخامت ۱۰-۹ میلی‌متر روی آن در آمد. ضخامت خمیر در نقاط تصادفی با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. سپس قالب‌گیری خمیر دونات با استفاده از قالبی شش ضلعی انجام

گرفت. وزن هر دونات قالب‌گیری‌شده بایستی حدود ۴۷ گرم باشد. مدت زمان لازم برای ورز دادن و قالب‌گیری ۱۵–۱۰ دقیقه بود. تعداد ۲۰ چانه خمیر دونات برای هر فرمولاسیون (۳ فرمولاسیون) قالب‌گیری و توزین شد و وزن دقیق هر چانه خمیر ثبت گردید.

جدول ۵- مقدار آب مازاد و زمان هم‌زدن برای فرمولاسیون‌های مورد آزمون

تیمار	درصد جایگزینی شکر	مقدار آب مازاد (گرم)	زمان هم‌زدن (دقیقه)
شاهد	۰	صفر	۱۰
کم شکر	۵۰	۱۸/۷	۱۰
فاقد شکر	۱۰۰	۲۰/۲۴	۱۰

تخمیر و سرخ‌کردن

به‌منظور تخمیر، گرم‌خانه‌گذاری صنعتی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد انجام گرفت. مدت زمان گرم‌خانه‌گذاری برابر با ۴۰–۳۰ دقیقه بود. پس از انجام فرآیند تخمیر؛ چانه‌های خمیر دونات‌ها با استفاده از سرخ‌کن صنعتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد فرآوری شدند. مدت زمان سرخ‌کردن در طرف اول ۹۰ ثانیه و در طرف دوم ۷۵ ثانیه بود. پس از خروج از سرخ‌کن، دونات به مدت ۳۰۰ ثانیه در هوای محیط سرد شد و سپس توزین همه نمونه‌ها انجام گرفت و وزن دقیق بعد از فرآوری نیز ثبت گردید.

قرار دادن آیسینگ و بسته‌بندی

از کل نمونه‌ها، سه عدد دونات برای آزمایشات شیمیایی در نظر گرفته شد و مابقی ۱۷ عدد دونات بعد از رسیدن به دمای محیط وارد مرحله قرار دادن (دیپازیت)[1] آیسینگ شد. وزن آیسینگ روی دونات حدود ۸ گرم بود. سپس بسته‌بندی با پلی‌پروپیلن انجام گرفت.

عکس راندمان سرخ‌کردن

از آن‌جا که معیار جذب روغن در صنعت؛ وزن دونات پس از سرخ‌کردن است، از مقایسه عکس راندمان سرخ‌کردن استفاده شد. زیرا وزن دونات بعد از سرخ‌کردن با جذب روغن زیاد می‌شود. بدین منظور، برای محاسبه راندمان سرخ‌کردن با درنظر گرفتن وزن دونات‌های سرخ شده و چانه‌های خام (خمیر) مطابق با Akdeniz (۲۰۰۵) از رابطه ۱ استفاده شد. در این رابطه، CW وزن دونات سرخ شده (g) و C وزن دونات سرخ نشده (g) و Ra راندمان سرخ‌کردن می‌باشد. سپس عکس راندمان به‌دست آمد.

$$Ra = \left(\frac{CW}{C}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

محتوی و اتلاف رطوبت

اندازه‌گیری محتوی رطوبت دونات‌ها مطابق با دستورالعمل AOAC (۱۹۹۵) با قرار دادن وزن معینی از دونات سرخ‌شده در آون ۱۰۵ درجه به مدت ۳ ساعت انجام شد. سپس با استفاده از رابطه ۲ میزان رطوبت نمونه بر مبنای وزن خشک بدون روغن محاسبه گردید. در این رابطه M جرم نسبی رطوبت بر مبنای وزن خشک بدون روغن (g/g, db)، W_0 وزن ثابت ظرف فلزی، W_1 وزن ظرف به همراه نمونه قبل از خشک کردن، W_2 وزن ظرف به همراه نمونه بعد از خشک کردن و W_{oil} وزن روغن جذب شده بر حسب ماده خشک (پس از استخراج روغن به روش سوکسله[2]) همگی بر حسب گرم می‌باشند. تخمین محتوی رطوبت در خمیر نیز با روش یکسانی انجام گرفت (در خمیر $W_{oil}=0$).

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0 - W_{oil}} \qquad (۲)$$

اتلاف رطوبت

پس از محاسبه محتوی رطوبت در دونات و خمیر مطابق با Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص اتلاف رطوبت با استفاده از رابطه ۳ قابل محاسبه است. در این رابطه ML اتلاف رطوبت بر حسب گرم بر گرم خمیر، W_{dough} وزن خمیر، M_{dough} محتوی رطوبت خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات و $M_{doughnut}$ محتوی رطوبت دونات را نشان می‌دهد.

$$ML\ (g/g) = \frac{\left((W_{dough} \times M_{dough}) - (W_{doughnut} \times M_{doughnut})\right)}{W_{dough}} \qquad (۳)$$

محتوی روغن

محتوی روغن دونات‌ها با استفاده از روش استخراج سوکسله نمونه‌های خشک به وسیله پترولیوم اتر به مدت ۶ ساعت مطابق با دستورالعمل AOAC (۱۹۹۵) تخمین زده شد. جرم نسبی روغن برحسب ماده خشک بدون روغن مطابق رابطه ۴ محاسبه شد. در این رابطه W_1 وزن ثابت اولیه بالن، W_2 وزن نهایی بالن پس از استخراج و m وزن نمونه خشک شده فاقد روغن بر حسب گرم می‌باشند و O میزان روغن جذب‌شده برحسب ماده خشک (g/g, db) محاسبه شد. میانگین محتوی چربی موجود در خمیر اولیه نیز محاسبه گردید و از این مقدار کسر شد.

1 Deposit

۲ Soxhlet

$$O = \frac{W_1 - W_2}{m}$$
(۴)

جذب روغن

پس از محاسبه محتوی روغن در دونات و خمیر؛ شاخص جذب روغن با استفاده از رابطه (۵) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) قابل محاسبه است. در این رابطه OU جذب روغن بر حسب گرم بر گرم خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات، $O_{doughnut}$ محتوی روغن دونات، W_{dough} وزن خمیر و O_{dough} محتوی چربی خمیر را نشان می‌دهد.

$$OU(g/g) = \frac{\left((W_{doughnut} \times O_{doughnut}) - (W_{dough} \times O_{dough})\right)}{W_{dough}}$$
(۵)

شاخص بازدارندگی از جذب روغن

از نسبت جذب روغن (OU) به اتلاف رطوبت (ML) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص بازدارندگی جذب روغن (U_R) مطابق رابطه ۶ محاسبه شد. ذر اینجا شاخص بازدارندگی بیشتر نشان‌دهنده جذب روغن بیشتر است.

$$U_R = \frac{OU}{ML}$$
(۶)

دانسیته محصول

محاسبه دانسیته با استفاده از روش وزن هکتولیتر دانه‌های ارزن و روش جابه‌جایی مطابق با Vélez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) انجام شد. ابتدا ظرفی با حجم مشخص از ارزن پر شد. وزن یک لیتر ارزن برابر با ۷۳۶/۹ گرم بود. سپس وزن نمونه دونات (m) با توزین مشخص شد و در ظرف قرار گرفت و باقی‌مانده حجم ظرف با ارزن پر شد. ارزن خارج مانده از ظرف در داخل یک استوانه مدرج ریخته شد و حجم (V) از روی استوانه مدرج مشخص گردید. این حجم برابر با حجم اشغال‌شده توسط نمونه دونات است. در نهایت، دانسیته (d) از رابطه ۷ بر حسب (g/cm^3) محاسبه شد.

$$d = \frac{m}{V}$$
(۷)

عکس‌برداری از محصول

به‌منظور بررسی تخلخل و رنگ به‌ترتیب عکس‌برداری از برش دونات و سطح نمونه‌های دونات انجام شد. عکس‌برداری با استفاده از یک اسکنر مسطح (HP Scanjet G2710، ایالات متحده آمریکا) مطابق با روش Romani و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. نمونه‌های تحت تیمار روی اسکنر قرار گرفتند و سپس از یک جعبه سیاه جهت ممانعت از دخالت نورهای محیطی و بازتابش نور و یک خط کش برای تنظیم مقیاس استفاده‌شد. تصاویر با کیفیت ۳۰۰ dpi و فرمت TIFF-24 bit تهیه‌گردید.

شاخص تخلخل محصول

جهت بررسی تخلخل، مطابق با Sarraf و همکاران (۲۰۱۷) تصاویر برش دونات توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه 1.6.0 پردازش شد. مطابق شکل ۲ ابتدا تصویر اصلی (شکل ۲- الف) به تصویر ۸ بیتی (شکل ۲- ب) تبدیل شد و سپس تصویر دودویی (شکل ۲- ج) ایجاد گردید. در نهایت، نسبت مساحت بخش‌های تیره (S_b) و روشن (S_w) در تصاویر دودویی محاسبه شد و شاخص تخلخل (p) مطابق رابطه ۸ به‌دست آمد.

$$p = \frac{S_b}{S_w}$$
(۸)

رنگ محصول

تجزیه و تحلیل رنگ در تصاویر به‌دست‌آمده مطابق Sabbaghi و همکاران (۲۰۱۸) توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه 1.6.0 انجام‌شد. بدین منظور فضای رنگی RGB به L*a*b* با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ تبدیل شد و سپس محاسبه روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) انجام گرفت. پارامترهای شدت تغییرات رنگ (dE)، کروما (Cr) و اندیس قهوه‌ای شدن (BI) نیز محاسبه گردید. شدت تغییر رنگ (dE) مطابق روش Dadali و همکاران (۲۰۰۷) براساس رابطه ۴- ۹ محاسبه شد. در این رابطه، اندیس i مربوط به پارامترهای رنگی اولیه L*a*b* یا نمونه خمیر و اندیس t مربوط به پارامترهای رنگی نمونه دونات می‌باشد. مطابق روش Wojdyło و همکاران (۲۰۰۹) از مولفه‌های رنگی a (قرمزی) و b (زردی) که تعیین کننده وجود رنگدانه در محصول هستند می‌توان شاخص کروما (C_r) را مطابق رابطه ۴-۱۰محاسبه نمود.

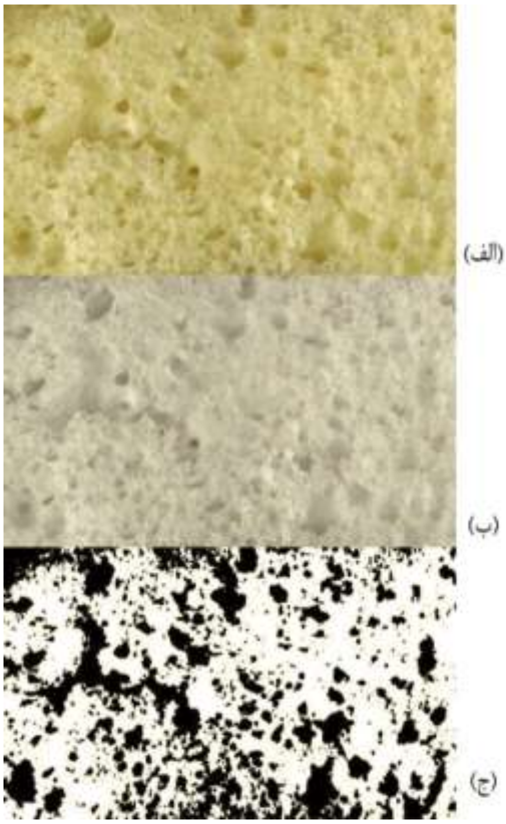
$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_t)^2 + (a_i - a_t)^2 + (b_i - b_t)^2}$$
(۹)

$$C_r = \sqrt{a^2 + b^2}$$
(۱۰)

رابطه ۱۱ حساب‌شد. در این رابطه، متغیر x از رابطه ۱۲ به‌دست می‌آید.

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17}$$
(۱۱)

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)}$$
(۱۲)



شکل ۲- پردازش تصاویر برای محاسبه شاخص تخلخل (الف) تصویر اولیه (ب) تصویر ۸ بیتی (ج) تصویر دودویی

جدول ٦- اطلاعات آموزش نحوه قضاوت حسی درباره دونات برای ارزیاب‌ها

خاصیت حسی	ویژگی‌های عمومی مطلوب
رنگ و ظاهر	رنگ یکنواخت، فاقد لکه‌های قهوه‌ای
بو	محصولی با عطر طبیعی، فاقد بوی نامناسب روغن
طعم	طعم شیرینی مناسب، فاقد تلخی
بافت	احساس دهانی مطلوب از نظر بافت، عدم سختی بافت، عدم وجود حباب سطحی
پذیرش کلی	مطلوبیت نهایی محصول از مجموع خواص حسی ارزیابی‌شده با توجه به اهمیت و عدم جذب آیسینگ

ارزیابی حسی

ارزیابی خصوصیات حسی شامل وضعیت ظاهری، طعم، بو، نرمی بافت و پذیرش کلی براساس روش معمول صنعتی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش‌دیده و مطابق با Melito و Farkas (۲۰۱۳) صورت پذیرفت. این کار حداکثر تا سه روز انجام گرفت. جدول ۶ توصیف هریک از پارامترهای حسی را برای ارزیاب‌ها نشان می‌دهد. ارزیابی با انتخاب یک عدد از یک تا ده معادل با الفاظ خیلی خوب (۹ و ۱۰)، خوب (۷ و ۸)، متوسط (۵ و ۶)، بد (۳ و۴) و خیلی بد (۱ و۲) انجام شد.

ماندگاری محصول

آزمون مرتبط با دوره نگهداری دونات در صنعت شامل بررسی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و رشد کپک است که طی مدت دو هفته (۱۴ روز) به صورت روزانه از روز دوم تولید انجام شد و با مقایسه با نمونه شاهد امتیازدهی مشابه ارزیابی حسی صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری برای بررسی تاثیر جایگزینی شکر روی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با در نظرگیری سه تیمار فرمولاسیون به صورت شاهد، کم شکر و فاقد شکر انجام گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار مقایسه میانگین دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت ($P<0.05$). برای تجزیه و

تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد. کلیه آزمایشات با سه تکرار انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص رطوبت دونات

جدول ۷ تجزیه واریانس را برای داده‌های محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت در اثر جایگزینی شکر در تیمارهای مورد آزمون "شاهد (حاوی ۱۰۰ درصد شکر)، حذف ۵۰ درصدی شکر و حذف ۱۰۰ درصدی شکر" را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، اختلاف میان نمونه‌های مورد آزمون از نظر شاخص‌های رطوبتی معنی‌دار بوده است. جدول ۸ مقایسه میانگین شاخص‌های رطوبتی را تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر طی آزمون نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، محتوی رطوبت نمونه فاقد شکر به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد است و اتلاف رطوبت در نمونه حاوی ۵۰ درصد جایگزینی از تیمارهای دیگر به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. نمونه شاهد و نمونه فاقد شکر از نظر اتلاف رطوبت اختلاف معنی‌دار نشان ندادند.

در همین راستا، Akesowan (۲۰۰۹) بیان کرد که با افزایش میزان اریتریتول در حد ۱۰۰ درصد جایگزینی در کیک، بافت مرطوب‌تر و نرم شد. Ghosh و Sudha (۲۰۱۲) بیان کردند که در محصولات پخت، شیرین‌کننده تامین‌کننده شیرینی، بافت و جاذب رطوبت[1] است و در نتیجه ماندگاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد و موجب افزایش آن می‌گردد. شیرین‌کننده همچنین روی طعم، ابعاد، رنگ، سختی و سطح محصول پختنی موثر است. Struck و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که برای کاربردهای محصولات نانوایی، پایداری عامل جایگزین‌کننده در شرایط فرآوری (مانند دمای بالا) نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. عامل جایگزینی همچنین باید سایر عملکردهای ساکارز در محصولات نانوایی مانند قهوه‌ای شدن، کریستالیزاسیون، کنترل دمای سفت‌شدن حرارتی نشاسته و پروتئین، ویسکوزیته و تشکیل ساختار و کنترل رطوبت را نیز داشته باشد. Zoulias و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که محصول فاقد شکر حاوی پلی‌ال‌ها محتوی رطوبت بالاتری نسبت به نمونه شاهد داشت؛ اما این میزان کمتر از حد بیشینه‌ای بود که روی ماندگاری آن موثر باشد. آن‌ها گزارش کردند که کاربرد پلی‌ال‌ها می‌تواند موجب نرمی بافت شود. Shih و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که اگر افزودنی مورد استفاده ظرفیت نگهداری آب قابل توجهی داشته‌باشد اثر قابل توجهی در کاهش جذب روغن خواهد داشت. همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش اتلاف رطوبت نمونه فاقد شکر اختلافی با شاهد نداشت. Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که اتلاف وزن طی فرآیند تحت تاثیر ظرفیت نگهداری آب است و افزایش ظرفیت نگهداری آب در فرمولاسیون موجب کاهش اتلاف وزنی خواهد شد. همچنین، Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که تغییر نوع شیرین‌کننده از ساکارز به قند الکل می‌تواند موجب افزایش سطح رطوبت محصول گردد.

جدول ۷- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی رطوبت دونات

شاخص رطوبت		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
محتوی رطوبت	تیمار	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۱۴/۴۴۸	۰/۰۰۵
	خطا	۰/۰۰۰	۶	۰/۰۰۰		
	کل	۰/۰۰۰	۸			
اتلاف رطوبت	تیمار	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۷/۸۲۲	۰/۰۲۱
	خطا	۰/۰۰۰	۶	۰/۰۰۰		
	کل	۰/۰۰۱	۸			

جدول ۸- مقایسه میانگین رطوبت دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر برحسب درصد)		
	صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰
محتوی رطوبت	$۰/۱۷۲\pm۰/۰۰۳^{b}$	$۰/۱۶۵\pm۰/۰۰۳^{c}$	$۰/۱۷۸\pm۰/۰۰۱^{a}$
اتلاف رطوبت	$۰/۱۱۶\pm۰/۰۰۶^{b}$	$۰/۱۳۰\pm۰/۰۰۶^{a}$	$۰/۱۱۵\pm۰/۰۰۳^{b}$

- حروف لاتین کوچک نشان‌دهنده مقایسه بین تیمارها است.

1 Humectancy

شاخص جذب روغن دونات

جدول ۹ تجزیه واریانس را برای داده‌های جذب روغن تحت تاثیر حذف شکر از دونات نشان می‌دهد. تیمارهای مختلف آزمون با حذف شکر از نظر شاخص‌های جذب روغن شامل محتوی روغن، جذب روغن، اختلاف وزنی، نسبت وزنی، بازدارندگی جذب و عکس راندمان سرخ‌کردن اختلاف معنی‌دار نداشتند. جدول ۱۰ مقایسه میانگین داده‌های مختلف شاخص‌های جذب روغن را میان تیمارهای مختلف حذف شکر نشان می‌دهد. اگرچه نمونه‌های مختلف از نظر شاخص‌های جذب روغن اختلاف معنی‌دار نداشتند اما نمونه فاقد شکر به دلیل داشتن حجم بیشتر احتمالاً اندکی جذب روغن بالاتری نشان داده است که از این نظر با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد. شاخص نسبت وزنی قبل و بعد از سرخ‌کردن؛ مشابه بودن جذب روغن تیمارهای مورد آزمون را به‌خوبی نمایان می‌سازد.

مطابق با Dana و Saguy (۲۰۰۶) و همچنین Ziaiifar و Sabbaghi (۲۰۱۸) محدوده جذب روغن برای محصولات جایگزین‌شده با شیرین‌کننده رژیمی در حد معمول ۲۰ تا ۳۰ درصد است.

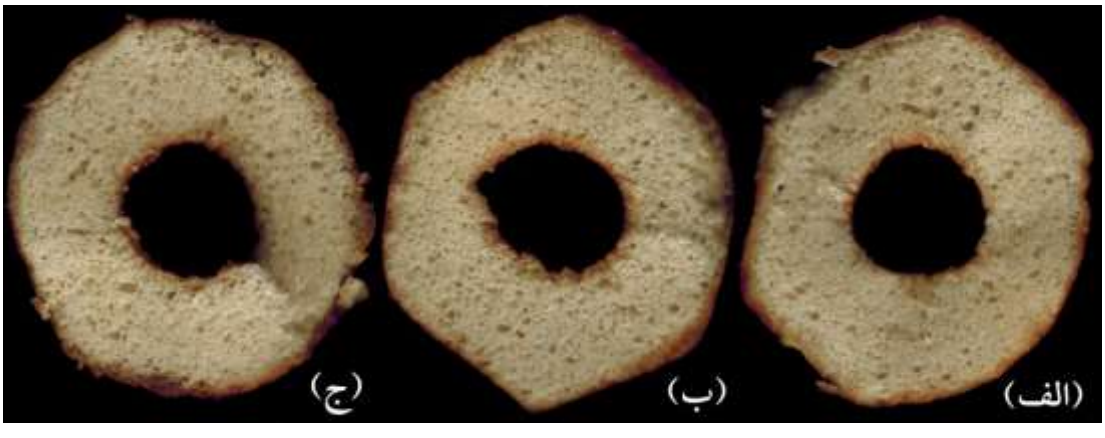
شاخص دانسیته و تخلخل

جدول ۱۱ تجزیه واریانس را برای مقایسه تاثیر حذف شکر روی شاخص‌های فیزیکی دانسیته و تخلخل نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است اختلاف میان تیمارهای آزمون از این نظر معنی‌دار است. شکل ۳ برش سطح مقطع دونات‌های مورد آزمون شامل دونات شاهد (شکل ۳- الف) دونات با ۵۰ درصد جایگزینی شکر (شکل ۳- ب) و دونات فاقد شکر (شکل ۳- ج) را مشخص می‌نماید. جدول ۱۲ مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیکی دانسیته و تخلخل را برای تیمارهای مختلف جایگزینی شکر نشان می‌دهد. دانسیته نمونه دونات با حذف ۱۰۰ درصدی شکر به‌طور معنی‌داری کمتر از دو تیمار دیگر بود که نشان‌دهنده حجم بالاتر محصول فاقد شکر است. به همین ترتیب این نمونه به‌طور معنی‌دار شاخص تخلخل بالاتری در مقایسه با دو تیمار دیگر داشت.

نمونه فاقد شکر حجم بالاتر و دانسیته کمتر داشت. در همین راستا، Mielea و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مالتودکسترین می‌تواند به عنوان عامل حجم‌دهنده، پایدارکننده[1] و غلیظ‌کننده[2] در یک فرمولاسیون پخت عمل نماید. Nip (۲۰۰۶) بیان کرد که به‌طور کلی کاهش ۲۰-۱۵ درصدی شکر در یک محصول نانوایی شیرین بدون تغییر عمده در فرمولاسیون امکان‌پذیر گزارش شده است.

کاهش شکر بین ۲۰ تا ۸۰ درصد اگرچه چالش برانگیز است اما ممکن است با مخلوط شیرین‌کننده‌های مختلف یا ترکیب شیرین‌کننده‌ها با عوامل حجم‌دهنده مانند قندهای پلیمریک، هیدروکلوئیدها یا فیبرها قابل دستیابی باشد و مخلوط حاصل بایستی تمامی عملکردهای بهینه ساکارز را فراهم نماید.

Manisha و همکاران (۲۰۱۲) و Zahn و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاهش حجم ناشی از حذف شکر ممکن است با افزودن هیدروکلوئیدها، قند الکل‌ها و فیبرهای گیاهی جبران شود. آن‌ها بیان کردند که استفاده از گلیکوزیدهای استویول[3] به‌عنوان یک شیرین‌کننده قوی شیرینی قابل قبولی در مقایسه با ساکارز ایجاد می‌نماید و می‌تواند در ترکیب با هیدروکلوئیدها، عوامل حجم‌دهنده یا فیبرها منجر به تولید فرمولاسیون‌های کم شکر[4] یا فاقد شکر[5] با خصوصیات کیفی مطلوب در محصول نهایی گردد.



شکل ۳- برش سطح مقطع دونات‌های مورد آزمون (الف) شاهد (ب) ۵۰ درصد جایگزینی شگر (ج) ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر

1 Stabilizer
2 Thickener
3 Steviol glycosides
4 Sugar reduced
5 Sugar-free

جدول ۹- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی شاخص جذب روغن دونات

		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
محتوی روغن	تیمار	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۰۱	۰/۹۷۶	۰/۴۳۰
	خطا	۰/۰۰۷	۶	۰/۰۰۱		
	کل	۰/۰۰۹	۸			
جذب روغن	تیمار	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۰۱	۱/۱۶۰	۰/۳۷۵
	خطا	۰/۰۰۶	۶	۰/۰۰۱		
	کل	۰/۰۰۹	۸			
اختلاف وزنی	تیمار	۱/۶۶۸	۲	۰/۸۳۴	۱/۲۹۹	۰/۲۸۱
	خطا	۳۶/۶۰۱	۵۷	۰/۶۴۲		
	کل	۳۸/۲۶۹	۵۹			
نسبت وزنی	تیمار	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۰/۳۹۰	۰/۶۷۹
	خطا	۰/۰۲۰	۵۷	۰/۰۰۰		
	کل	۰/۰۲۰	۵۹			
بازدارندگی جذب	تیمار	۰/۷۰۱	۲	۰/۳۵۰	۲/۸۲۶	۰/۱۳۷
	خطا	۰/۷۴۴	۶	۰/۱۲۴		
	کل	۱/۴۴۵	۸			
عکس راندمان	تیمار	۲/۷۰۳	۲	۱/۳۵۲	۰/۳۹۰	۰/۶۷۹
	خطا	۱۹۷/۷۳۵	۵۷	۳/۴۶۹		
	کل	۲۰۰/۴۳۸	۵۹			

جدول ۱۰- مقایسه میانگین پارامترهای جذب روغن دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر برحسب درصد)		
	صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰
محتوی روغن	۰/۳۸۰±۰/۰۳۶[a]	۰/۳۵۱±۰/۰۲۶[a]	۰/۳۸۶±۰/۰۳۶[a]
جذب روغن	۰/۳۱۸±۰/۰۳۸[a]	۰/۲۷۹±۰/۰۲۲[a]	۰/۳۰۹±۰/۰۳۵[a]
اختلاف وزنی	۳/۹۲۵±۱/۲۶۰[a]	۳/۸۳۵±۰/۴۳۳[a]	۴/۲۲۵±۰/۳۸۷[a]
نسبت وزنی	۰/۹۱۴±۰/۰۲۹[a]	۰/۹۱۸±۰/۰۱۰[a]	۰/۹۱۳±۰/۰۰۸[a]
بازدارندگی جذب	۲/۷۵۳±۰/۴۶۴[a]	۲/۱۳۶±۰/۰۸۸[a]	۲/۷۰۰±۰/۳۸۵[a]
عکس راندمان	۹۱/۴۴۶±۲/۹۶۰[a]	۹۱/۸۶۳±۱/۰۰۰[a]	۹۱/۳۸۶±۰/۸۰۲[a]

- حروف لاتین کوچک نشان‌دهنده مقایسه بین تیمارها است.

Savitha و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که مالتودکسترین با DE کمتر از ۲۰ می‌تواند به همراه قندالکل‌ها نقش عامل حجم‌دهنده را داشته باشد. Chronakis (۱۹۹۸) بیان کرد که ژل مالتودکسترین یک شبکه است که از اتصال میان مولکول‌های آمیلوز[1] محلول و مولکول‌های آمیلوپکتین[2] با زنجیره‌های خطی و منشعب به‌دست می‌آید. فاز اولیه تعامل میان مولکول‌های منشعب و خطی، تجمع[3] سریع و تشکیل شبکه تحت تاثیر بازآرایی ساختاری[4] است که به شدت به غلظت و طول زنجیره بستگی دارد. بنابراین از کاربردهای مالتودکسترین می‌تواند عامل بهبود دهنده بافت و حجم باشد. Kennedy و همکاران (۱۹۹۵) جلوگیری از کاهش حجم طی نگهداری را از نقش‌های مهم مالتودکسترین معرفی نمودند.

1 Amylose
2 Amylopectin
3 Aggregation
4 Structural rearrangements

دونات فاقد شکر تخلخل بالاتری نشان داد. در همین راستا، Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که جایگزینی شکر روی ساختار سلولی هسته کیک تاثیر معنی‌داری دارد. جایگزینی شکر می‌تواند روی مکانیسم سفت‌شدن حرارتی[۱] تاثیر بگذارد و در گسترش و حفظ حباب‌ها نقش داشته باشد. در واقع، عدم وجود مسیرهای انتشار[۲] در هنگام تغییر نوع شیرین‌کننده ممکن است موجب سفت‌شدن حرارتی اولیه شود و در نتیجه محصول کم حجم، با سلول‌های کوچک و تقریباً بدون پیوستگی داخلی[۳] شود. توزیع اندازه منافذ باریک سلول‌های کوچک و توزیع یکنواخت در اطراف هسته به‌عنوان حفرات منفرد می‌تواند سختی کمتر هسته را موجب شود. در شرایط معمول ژلاتینه‌شدن نشاسته و غیرطبیعی‌شدن[۴] پروتئین در دامنه دمایی مشخص و یکسانی اتفاق می‌افتد و سفت‌شدن حرارتی می‌تواند با تاثیر روی جزء نشاسته در ماتریس ژل، موجب قدرت هسته کیک شود. بنابراین در محصول فاقد شکر تغییر در مکانیسم سفت‌شدن حرارتی می‌تواند موجب کاهش قدرت هسته شود و نرمی بافت آن را باعث گردد.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی دانسیته و تخلخل دونات

		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
دانسیته	تیمار	۰/۰۰۵	۲	۰/۰۰۳	۱۵/۰۳۹	۰/۰۰۵
	خطا	۰/۰۰۱	۶	۰/۰۰۰		
	کل	۰/۰۰۶	۸			
تخلخل	تیمار	۰/۰۴۶	۲	۰/۰۲۳	۷/۰۳۵	۰/۰۲۷
	خطا	۰/۰۱۹	۶	۰/۰۰۳		
	کل	۰/۰۶۵	۸			

جدول ۱۲- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیکی دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر برحسب درصد)		
	صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰
دانسیته	۰/۴۱۴±۰/۰۱۹ [a]	۰/۴۲۵±۰/۰۱۳ [a]	۰/۳۶۹±۰/۰۰۱ [b]
تخلخل	۰/۴۷۰±۰/۰۷۸ [ab]	۰/۳۸۵±۰/۰۳۶ [b]	۰/۵۵۹±۰/۰۴۷ [a]

- حروف لاتین کوچک نشان‌دهنده مقایسه بین تیمارها است.

رنگ دونات فاقد شکر

جدول ۱۳ تجزیه واریانس برای بررسی تاثیر حذف شکر روی رنگ دونات‌های مورد آزمون را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است؛ اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر پارامترهای مختلف رنگ شامل روشنایی (L)، قرمزی (a)، زردی (L)، شدت تغییرات رنگ (dE)، کروما (Cr)، اندیس قهوه‌ای‌شدن (BI) معنی‌دار بوده است.

شکل ۴ رنگ پوسته دونات‌های مورد آزمون را شامل دونات شاهد (شکل ۴- الف)، دونات با ۵۰ درصد جایگزینی شکر (شکل ۴- ب) و دونات فاقد شکر (شکل ۴- ج) را نشان می‌دهد. جدول ۱۴ مقایسه میانگین پارامترهای رنگی دونات را تحت تاثیر حذف شکر نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، با افزایش درصد حذف شکر روشنایی محصول به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین با کاهش میزان شکر در فرمولاسیون قرمزی دونات به طور معنی‌داری کاهش نشان داد. از نظر پارامتر زردی رنگ میان دونات ۱۰۰ درصد جایگزینی و نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و نمونه ۵۰ درصد پارامتر زردی کمتری را نشان داد که به دلیل این می‌تواند باشد که نمونه ۵۰ درصد جایگزنی شکر پارامترهای مختلف جذب روغن از نظر عددی کمتر بود هرچند اختلاف معنی‌داری میان جذب روغن نمونه‌ها مشاهده نشد. شدت تغییرات رنگ، کروما و اندیس قهوه‌ای شدن در نمونه‌ای با ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها کمتر بود

دونات فاقد شکر روشنایی بیشتر و قرمزی کمتر داشت و زردی آن با نمونه شاهد اختلافی نداشت. به طور کلی حذف شکر باعث کاهش شدت تغییرات رنگ، کروما و اندیش قهوه‌ای‌شدن گردید. در همین راستا، Mielea و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که یک سیستم غذایی که دانسیته کمتری به علت این‌که هوای بیشتری در آن نفوذ کرده است پارامتر روشنایی رنگ بیشتری را نشان خواهد داد. Chatchavanthatri

1 Thermosetting mechanism
2 Diffusion
3 Interconnectivity

۴ Denaturation

و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند ظاهر، طعم، رنگ و بافت مواد غذایی می‌تواند تحت تاثیر میزان شکر باشد. همچنین، اشاره کردند که نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر می‌تواند روی پارامترهای رنگی موثر باشد و موجب روشنایی بیشتر و قرمزی کمتر گردد. مواد غذایی حاوی شکر تیره‌تر هستند. آن‌ها واکنش میان ساکارز و آب را که موجب واکنش مایلارد و کاراملیزسیون[1] می‌گردد، دلیل احتمالی آن دانستند. البته، Bajaj و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که تغییرات رنگ طی نگهداری ممکن است تحت تاثیر اکسیژن موجود در بسته‌بندی باشد. Ronda و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که استفاده از پلی‌ال‌ها (مانند اریتریتول) به‌عنوان جایگزین در محصولات نانوایی فاقد شکر موجب بروز رنگ روشن‌تر در محصول می‌شوند که علت آن عدم شرکت پلی‌ال‌ها در واکنش مایلارد است، زیرا فاقد یک گروه آلدهید واکنش‌پذیر هستند. Zoulias و همکاران (۲۰۰۰) تاثیر معنی‌دار نوع شیرین‌کننده روی فاکتور زردی رنگ را گزارش نکردند و بیان کردند که پلی‌ال‌ها در واکنش مایلارد شرکت نمی‌کنند و قند احیاءکننده نیستند و موجب روشنایی محصول پخت خواهند شد. Akesowan (۲۰۰۹) بیان کرد که روشنایی کیک با سطح جایگزینی اریتریتول به طور معنی‌داری تغییر کرد در حالی که قرمزی و زردی تغییر خاصی نداشت. Laroque و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند نوع قند از پارامترهای مهم در نرخ واکنش مایلارد است. بنابراین نوع قند می‌تواند روی تولیدات ناشی از مایلارد موثر باشد و موجب حفظ خصوصیات سلامتی و عملگرایی ماده غذایی گردد.

ماندگاری دونات فاقد شکر

جدول ۱۵ تجزیه واریانس را برای شاخص ماندگاری نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ در تیمارهای مورد آزمون نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، تیمارهای مورد آزمون از این نظر اختلاف معنی‌دار در امتیاز ارزیابی طی ۱۴ روز داشتند.

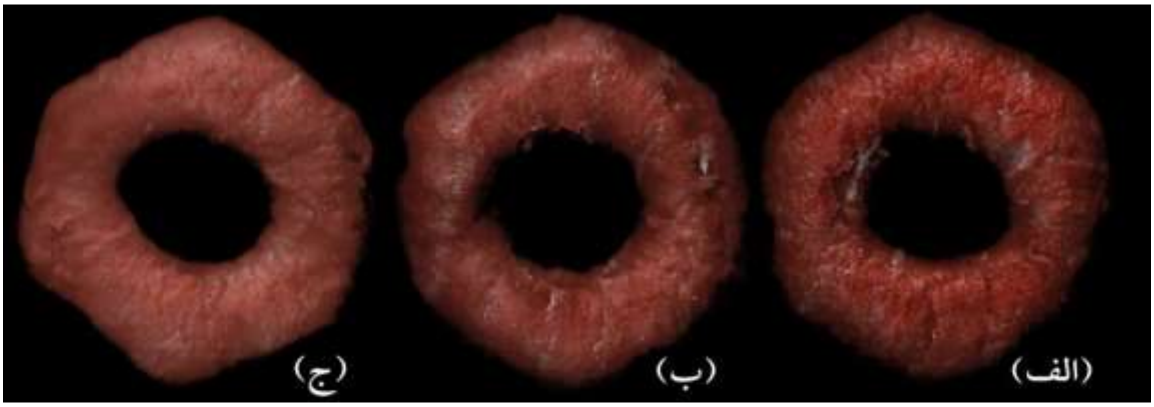
جدول ۱۳- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی پارامترهای رنگی دونات

پارامتر رنگی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
L	تیمار	۶۰۹/۰۲۲	۲	۳۰۴/۵۱۱	۱۸۷/۰۶۴	۰/۰۰۰۰
	خطا	۹/۷۶۷	۶	۱/۶۲۸		
	کل	۶۱۸/۷۸۹	۸			
a	تیمار	۹۴۱/۳۹۷	۲	۴۷۰/۶۹۸	۴۰۷/۱۴۰	۰/۰۰۰۰
	خطا	۶/۹۳۷	۶	۱/۱۵۶		
	کل	۹۴۸/۳۳۳	۸			
b	تیمار	۵۹/۹۱۲	۲	۲۹/۹۵۶	۱۱/۰۸۹	۰/۰۱۰
	خطا	۱۶/۲۰۸	۶	۲/۷۰۱		
	کل	۷۶/۱۲۱	۸			
dE	تیمار	۱۱۰۶/۸۵۸	۲	۵۵۳/۴۲۹	۸۶۷/۹۳۸	۰/۰۰۰
	خطا	۳/۸۲۶	۶	۰/۶۳۸		
	کل	۱۱۱۰/۶۸۴	۸			
Cr	تیمار	۵۴۴/۸۳۰	۲	۲۷۲/۴۱۵	۲۰۹/۴۸۴	۰/۰۰۰
	خطا	۷/۸۰۲	۶	۱/۳۰۰		
	کل	۵۵۲/۶۳۳	۸			
BI	تیمار	۱۲۰۴۱۴/۷۵۹	۲	۶۰۲۰۷/۳۷۹	۲۱۹/۷۹۵	۰/۰۰۰
	خطا	۱۶۴۳/۵۴۸	۶	۲۷۳/۹۲۵		
	کل	۱۲۲۰۵۸/۳۰۷	۸			

جدول ۱۶ مقایسه میانگین امتیاز نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ را در تیمارهای مورد آزمون نشان می‌دهد. نرمی بافت در نمونه فاقد شکر به طور معنی‌داری بیشتر بود که دلیل آن می‌تواند حجم، تخلخل و رطوبت بالاتر باشد؛ که البته از این نظر با شاهد اختلاف معنی‌دار

1 Caramelization

نداشت. عدم جذب آیسینگ در نمونه شاهد میانگین امتیاز بالاتری را طی ارزیابی دریافت کرد اما از این نظر با نمونه فاقد شکر اختلاف معنی‌داری نشان نداد. نمونه حاوی ۵۰ درصد شکر در فرمولاسیون نیز نرمی بافت کمتری داشت و جذب آیسینگ بالاتری را نشان داد. دونات فاقد شکر نرمی بافت بالاتری در مقایسه با شاهد داشت و ماندگاری مطلوبی نشان داد. در همین راستا، Zhou و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که توسعه اولیه واکنش مایلارد موجب تغییرات در سختی می‌شود. بنابراین جایگزینی قندهای احیاء با ترکیبات غیرقابل احیاء مانند قند الکل‌ها در فرمولاسیون تغییرات بافتی را در جهت سخت‌شدن کاهش می‌دهد. زیرا واکنش مایلارد موجب کاهش قندهای در دسترس به‌عنوان پلاستیسایزر[1] در فرمولاسیون خواهد شد. Savitha و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که شیرین‌کننده روی بافت محصول موثر است زیرا هیدراتاسیون را کنترل می‌نماید و تمایل به پراکندگی مولکول‌های نشاسته و پروتئین دارد و در نتیجه از تشکیل یک توده پیوسته[2] جلوگیری می‌نماید. Kulthe و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که جایگزنی ۲۰-۱۵ شکر در کوکی با پودر برگ استویا موجب کاهش سختی محصول نهایی پخت گردید. Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کردند که بافت محصول می‌تواند تحت تاثیر میزان شکر باشد. نوع شیرین‌کننده می‌تواند در تشکیل شبکه‌های ساختاری بافت موثر باشد و موجب نرمی گردد.



شکل ٤- رنگ پوسته دونات‌های مورد آزمون (الف) شاهد (ب) ۵۰ درصد جایگزینی شگر (ج) ۱۰۰ درصد جایگزینی شکر

جدول ١٤- مقایسه میانگین پارامترهای رنگی دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر برحسب درصد)		
	صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰
L	۲۷/۵۱۵±۰/۸۰۰[c]	۳۵/۲۵۹±۱/۷۲۶[b]	۴۷/۴۹۷±۱/۱۲۴[a]
a	۳۳/۴۳۲±۰/۷۶۹[a]	۲۸/۵۵۶±۰/۹۹۱[b]	۹/۷۱۴±۱/۳۷۶[c]
b	۳۶/۱۰۴±۲/۲۰۸[a]	۳۱/۱۲۷±۱/۳۰۷[b]	۳۶/۹۸۹±۱/۲۳۲[a]
dE	۶۳/۰۸۸±۰/۴۳۱[a]	۵۳/۱۶۱±۱/۲۰۸[b]	۳۶/۲۲۶±۰/۵۱۶[c]
Cr	۳۶/۰۶۱±۰/۷۱۱[a]	۲۹/۷۷۷±۱/۱۹۹[b]	۱۷/۳۳۷±۱/۳۹۸[c]
BI	۴۱۸/۱۴۸±۲۷/۹۰۶[a]	۲۱۴/۴۸۱±۵/۹۳۳[b]	۱۴۵/۷۳۶±۲/۷۹۶[c]

- حروف لاتین کوچک نشان‌دهنده مقایسه بین تیمارها است.

ارزیابی حسی دونات

جدول‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ تجزیه واریانس را برای مقایسه تیمارهای مختلف در یک روز را نشان می‌دهد. همچنین جدول‌های ۲۰، ۲۱ و ۲۲ تجزیه واریانس را برای یک تیمار در روزهای مختلف نگهداری مشخص می‌نماید. همانطور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی‌دار بوده است.

1 Plasticizers

2 Continuous mass

جدول ۱۵- تجزیه واریانس برای مقایسه اثر جایگزینی شکر روی ماندگاری دونات

		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
نرمی بافت	تیمار	۴۶/۳۳۳	۲	۲۳/۱۶۷	۳/۹۲۷	۰/۰۲۸
	خطا	۲۳۰/۰۷۱	۳۹	۵/۸۹۹		
	کل	۲۷۶/۴۰۵	۴۱			
عدم جذب آیسینگ	تیمار	۳۴/۳۳۳	۲	۱۷/۱۶۷	۲/۵۶۰	۰/۰۹۰
	خطا	۲۶۱/۵۰۰	۳۹	۶/۷۰۵		
	کل	۲۹۵/۸۳۳	۴۱			

جدول ۱۶- مقایسه میانگین شاخص‌های ماندگاری دونات تحت تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی شکر

	تیمار (نسبت جایگزینی شکر برحسب درصد)		
	صفر (شاهد)	۵۰	۱۰۰
نرمی بافت	۶/۹۲۸±۲/۵۸۵[ab]	۵/۵۷۱±۲/۶۵۱[b]	۸/۱۴۲±۱/۹۹۴[a]
عدم جذب آیسینگ	۷/۲۸۵±۲/۱۶۳[a]	۵/۰۷۱±۳/۰۴۹[b]	۶/۱۴۲±۲/۴۷۶[ab]

- حروف لاتین کوچک نشان‌دهنده مقایسه بین تیمارها است.

جدول ۱۷- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات‌های صفر،۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز اول

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروه‌ها	۱/۸۰۰	۲	۰/۹۰۰	۲/۵۸۵	۰/۰۹۴
	داخل گروه‌ها	۹/۴۰۰	۲۷	۰/۳۴۸		
	کل	۱۱/۲۰۰	۲۹			
طعم	بین گروه‌ها	۳/۲۶۷	۲	۱/۶۳۳	۱/۹۹۵	۰/۱۵۶
	داخل گروه‌ها	۲۲/۱۰۰	۲۷	۰/۸۱۹		
	کل	۲۵/۳۶۷	۲۹			
بو	بین گروه‌ها	۷/۲۰۰	۲	۳/۶۰۰	۵/۵۲۳	۰/۰۱۰
	داخل گروه‌ها	۱۷/۶۰۰	۲۷	۰/۶۵۲		
	کل	۲۴/۸۰۰	۲۹			
بافت	بین گروه‌ها	۳۹/۴۶۷	۲	۱۹/۷۳۳	۲۵/۱۳۲	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۱/۲۰۰	۲۷	۰/۷۸۵		
	کل	۶۰/۶۶۷	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروه‌ها	۲۴/۰۶۷	۲	۱۲/۰۳۳	۱۲/۷۹۱	۰/۰۰۰
	داخل گروه‌ها	۲۵/۴۰۰	۲۷	۰/۹۴۱		
	کل	۴۹/۴۶۷	۲۹			

جدول ۲۳ مقایسه میانگین نمرات ارزیابی حسی را برای درجه‌های مختلف جانشینی شکر نشان می‌دهد. همواره بیشترین نمرات ارزیابی تیمارها در روز اول نگهداری به‌دست آمده است و تغییرات معنی‌دار برای نمرات ارزیابی حسی در نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده طی روزهای مختلف کمتر مشاهده شد. از نظر پذیرش پارامتر حسی رنگ میان نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده رژیمی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از نظر طعم نیز در روز اول نگهداری میان تیمارهای مورد آزمون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در روزهای دوم و سوم میان شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده رژیمی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و بالاترین نمرات را در ارزیابی داشتند. از نظر پارامتر حسی بو نمونه شاهد شرایط بهتری را نشان داد و البته اختلاف معنی‌داری با تیمار حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده

مشاهده نشد. از نظر ارزیابی حسی بافت بهترین نمرات را نمونه حاوی۱۰۰ درصد شیرین‌کننده داشت و از این نظر با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. تنها در روز سوم نگهداری نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده اختلاف معنی‌دار نشان ندادند. از نظر پذیرش کلی میان نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ۱۸- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات‌های صفر،۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز دوم

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروها	۶/۰۶۷	۲	۳/۰۳۳	۴/۲۲۲	۰/۰۲۵
	داخل گروها	۱۹/۴۰۰	۲۷	۰/۷۱۹		
	کل	۲۵/۴۶۷	۲۹			
طعم	بین گروها	۸/۰۶۷	۲	۴/۰۳۳	۶/۰۱۷	۰/۰۰۷
	داخل گروها	۱۸/۱۰۰	۲۷	۰/۶۷۰		
	کل	۲۶/۱۶۷	۲۹			
بو	بین گروها	۱۳/۲۶۷	۲	۶/۶۳۳	۱۵/۳۰۸	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۱/۷۰۰	۲۷	۰/۴۳۳		
	کل	۲۴/۹۶۷	۲۹			
بافت	بین گروها	۳۱/۴۰۰	۲	۱۵/۷۰۰	۱۹/۸۰۸	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۲۱/۴۰۰	۲۷	۰/۷۹۳		
	کل	۵۲/۸۰۰	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروها	۳۰/۲۰۰	۲	۱۵/۱۰۰	۲۷/۹۲۵	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۴/۶۰۰	۲۷	۰/۵۴۱		
	کل	۴۴/۸۰۰	۲۹			

جدول ۱۹- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات‌های صفر،۵۰ و ۱۰۰ درصد شکر در روز سوم

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروها	۶/۶۶۷	۲	۳/۳۳۳	۳/۳۰۹	۰/۰۵۲
	داخل گروها	۲۷/۲۰۰	۲۷	۱/۰۰۷		
	کل	۳۳/۸۶۷	۲۹			
طعم	بین گروها	۱۰/۴۶۷	۲	۵/۲۳۳	۵/۳۳۲	۰/۰۱۱
	داخل گروها	۲۶/۵۰۰	۲۷	۰/۹۸۱		
	کل	۳۶/۹۶۷	۲۹			
بو	بین گروها	۱۲/۶۰۰	۲	۶/۳۰۰	۹/۶۱۰	۰/۰۰۱
	داخل گروها	۱۷/۷۰۰	۲۷	۰/۶۵۶		
	کل	۳۰/۳۰۰	۲۹			
بافت	بین گروها	۲۷/۲۶۷	۲	۱۳/۶۳۳	۱۴/۹۶۳	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۲۴/۶۰۰	۲۷	۰/۹۱۱		
	کل	۵۱/۸۶۷	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروها	۳۳/۸۰۰	۲	۱۶/۹۰۰	۲۷/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۶/۹۰۰	۲۷	۰/۶۲۶		
	کل	۵۰/۷۰۰	۲۹			

جدول ۲۰- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات ۱۰۰ درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروها	۷/۲۶۷	۲	۳/۶۳۳	۴/۱۳۹	۰/۰۲۷
	داخل گروها	۲۳/۷۰۰	۲۷	۰/۸۷۸		
	کل	۳۰/۹۶۷	۲۹			
طعم	بین گروها	۸/۴۶۷	۲	۴/۲۳۳	۵/۸۰۲	۰/۰۰۸
	داخل گروها	۱۹/۷۰۰	۲۷	۰/۷۳۰		
	کل	۲۸/۱۶۷	۲۹			
بو	بین گروها	۱۱/۲۶۷	۲	۵/۶۳۳	۱۳/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۱/۷۰۰	۲۷	۰/۴۳۳		
	کل	۲۲/۹۶۷	۲۹			
بافت	بین گروها	۹/۸۰۰	۲	۴/۹۰۰	۵/۴۶۷	۰/۰۱۰
	داخل گروها	۲۴/۲۰۰	۲۷	۰/۸۹۶		
	کل	۳۴/۰۰۰	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروها	۸/۶۰۰	۲	۴/۳۰۰	۵/۱۳۷	۰/۰۱۳
	داخل گروها	۲۲/۶۰۰	۲۷	۰/۸۳۷		
	کل	۳۱/۲۰۰	۲۹			

جدول ۲۱- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات ۵۰ درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروها	۱۸/۰۶۷	۲	۹/۰۳۳	۱۳/۱۱۳	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۸/۶۰۰	۲۷	۰/۶۸۹		
	کل	۳۶/۶۶۷	۲۹			
طعم	بین گروها	۱۸/۰۶۷	۲	۹/۰۳۳	۱۵/۸۳۸	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۵/۴۰۰	۲۷	۰/۵۷۰		
	کل	۳۳/۴۶۷	۲۹			
بو	بین گروها	۱۶/۴۶۷	۲	۸/۲۳۳	۱۳/۱۵۴	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۶/۹۰۰	۲۷	۰/۶۲۶		
	کل	۳۳/۳۶۷	۲۹			
بافت	بین گروها	۷/۲۰۰	۲	۳/۶۰۰	۸/۱۰۰	۰/۰۰۲
	داخل گروها	۱۲/۰۰۰	۲۷	۰/۴۴۴		
	کل	۱۹/۲۰۰	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروها	۱۲/۸۰۰	۲	۶/۴۰۰	۱۲/۰۰۰	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۴/۴۰۰	۲۷	۰/۵۳۳		
	کل	۲۷/۲۰۰	۲۹			

جدول ۲۲- جدول تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی حسی دونات صفر درصد شکر در روزهای نگهداری

پارامتر حسی		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
رنگ	بین گروها	۱۱/۶۶۷	۲	۵/۸۳۳	۱۱/۴۹۶	۰/۰۰۰
	داخل گروها	۱۳/۷۰۰	۲۷	۰/۵۰۷		
	کل	۲۵/۳۶۷	۲۹			
طعم	بین گروها	۹/۸۶۷	۲	۴/۹۳۳	۴/۲۱۵	۰/۰۲۶
	داخل گروها	۳۱/۶۰۰	۲۷	۱/۱۷۰		
	کل	۴۱/۴۶۷	۲۹			
بو	بین گروها	۷/۴۶۷	۲	۳/۷۳۳	۵/۴۷۸	۰/۰۱۰
	داخل گروها	۱۸/۴۰۰	۲۷	۰/۶۸۱		
	کل	۲۵/۸۶۷	۲۹			
بافت	بین گروها	۱۴/۴۶۷	۲	۷/۲۳۳	۶/۳۰۰	۰/۰۰۶
	داخل گروها	۳۱/۰۰۰	۲۷	۱/۱۴۸		
	کل	۴۵/۴۶۷	۲۹			
پذیرش کلی	بین گروها	۷/۴۶۷	۲	۳/۷۳۳	۵/۰۶۵	۰/۰۱۴
	داخل گروها	۱۹/۹۰۰	۲۷	۰/۷۳۷		
	کل	۲۷/۳۶۷	۲۹			

جدول ۲۳- مقایسه میانگین ارزیابی پارامترهای حسی در تیمارهای مورد آزمون در روزهای نگهداری

		زمان نگهداری		
پارامتر حسی	شکر-استویا	روز اول	روز دوم	روز سوم
رنگ	۰-۱۰۰	۷/۶۰۰±۰/۵۱۶^{Aab}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵^{ABab}	۶/۴۰۰±۱/۲۶۴^{Ba}
	۵۰-۵۰	۷/۳۰۰±۰/۶۷۴^{Ab}	۶/۳۰۰±۰/۹۴۸^{Bb}	۵/۴۰۰±۰/۸۴۳^{Cb}
	۱۰۰-۰	۷/۹۰۰±۰/۵۶۷^{Aa}	۷/۴۰۰±۰/۶۹۹^{Aa}	۶/۴۰۰±۰/۸۴۳^{Ba}
طعم	۰-۱۰۰	۷/۸۰۰±۰/۶۳۲^{Aa}	۷/۲۰۰±۰/۷۸۸^{ABa}	۶/۵۰۰±۱/۰۸۰^{Ba}
	۵۰-۵۰	۷/۱۰۰±۰/۸۷۵^{Aa}	۶/۱۰۰±۰/۷۳۷^{Bb}	۵/۲۰۰±۰/۶۳۲^{Cb}
	۱۰۰-۰	۷/۸۰۰±۱/۱۳۵^{Aa}	۷/۲۰۰±۰/۹۱۸^{ABa}	۶/۴۰۰±۱/۱۷۳^{Ba}
بو	۰-۱۰۰	۸/۴۰۰±۰/۵۱۶^{Aa}	۷/۶۰۰±۰/۵۱۶^{Ba}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵^{Ca}
	۵۰-۵۰	۷/۲۰۰±۱/۰۳۲^{Ab}	۶/۱۰۰±۰/۷۳۷^{Bb}	۵/۴۰۰±۰/۵۱۶^{Bb}
	۱۰۰-۰	۷/۸۰۰±۰/۷۸۸^{Aab}	۷/۴۰۰±۰/۶۹۹^{Aa}	۶/۶۰۰±۰/۹۶۶^{Ba}
بافت	۰-۱۰۰	۷/۸۰۰±۰/۹۱۸^{Ab}	۶/۷۰۰±۰/۹۴۸^{Bb}	۶/۵۰۰±۰/۹۷۱^{Ba}
	۵۰-۵۰	۶/۲۰۰±۰/۷۸۸^{Ac}	۵/۶۰۰±۰/۵۱۶^{ABc}	۵/۰۰۰±۰/۶۶۶^{Bb}
	۱۰۰-۰	۹/۰۰۰±۰/۹۴۲^{Aa}	۸/۱۰۰±۱/۱۰۰^{ABa}	۷/۳۰۰±۱/۱۵۹^{Ba}
پذیرش کلی	۰-۱۰۰	۸/۱۰۰±۰/۸۷۵^{Aa}	۷/۳۰۰±۰/۹۴۸^{ABa}	۶/۸۰۰±۰/۹۱۸^{Ba}
	۵۰-۵۰	۶/۲۰۰±۱/۰۳۲^{Ab}	۵/۴۰۰±۰/۵۱۶^{Bb}	۴/۶۰۰±۰/۵۱۶^{Cb}
	۱۰۰-۰	۸/۱۰۰±۰/۹۹۴^{Aa}	۷/۷۰۰±۰/۶۷۴^{Aa}	۶/۹۰۰±۰/۸۷۵^{Ba}

- حروف لاتین بزرگ مقایسه بین روزها در هر تیمار می‌باشد و حروف لاتین کوچک مقایسه بین تیمارها در هر روز است.

در تمامی پارامترهای حسی نمونه حاوی ۵۰ درصد شکر نمرات ارزیابی کمتری را با اختلاف معنی‌دار نشان داد و تنها از نظر طعم در روز اول با دو تیمار دیگر اختلاف نداشت. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نشان داد که جایگزینی ۱۰۰ درصد شکر با مخلوط شیرین‌کننده از

مطلوبیت مناسبی برای مصرف‌کننده برخوردار بوده است. نمونه شاهد تنها از نظر عطر و بو از نمونه حاوی ۱۰۰ درصد شیرین‌کننده بهتر بوده است که می‌تواند به تشکیل بیشتر عوامل واکنش میلارد در حضور شکر مرتبط باشد و البته این اختلاف در میانگین برابر با ۰/۶ بود که می‌تواند ناچیز در نظر گرفته شود.

دونات فاقد شکر ارزیابی حسی رنگ، طعم، بو و بافت و پذیرش کلی مطلوبی نشان داد. در همی راستا، Savitha و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند کاربرد بیشتر مالتودکسترین (۳۰ درصد) در فرمولاسیون محصول بیسکوئیت موجب احساس دهانی مطلوب شد. Chatchavanthatri و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کردند که ارزیابی حسی رنگ و پذیرش کلی تحت تاثیر کاربرد شیرین‌کننده جایگزین مانند مالتیتول[1] بهبود یافت و احساس دهانی مطلوب مشاهده شد. Zoulias و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند کوکی‌های حاصل از ساکارز نسبت به سایر شیرین‌کننده‌ها سخت‌تر و خشک‌تر بودند. آن‌ها نوع شیرین‌کننده را در تشخیص پارامترهای حسی موثر دانستند. ارزیابی حسی کوکی‌های تولید شده با زایلیتول[2] شیرینی یکسانی با ساکارز نشان داد. همچنین کوکی‌های فرمول‌شده با گلوکز نرم‌تر بودند و پس طعم داشتند. Bajaj و همکاران (۲۰۰۶) نیز نمرات ارزیابی حسی را برای بیسکوئیت در تیمارهای مختلف برای پایان دوره نگهداری پایین‌تر از ابتدای دوره مشاهده نمودند. Rodríguez-García و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که در جایگزنی شکر بافت و طعم روند مشابهی با پذیرش کلی نشان داد. آن‌ها گزارش کردند که نمونه با جایگزنی ۵۰ درصد شکر در ارزیابی حسی درصد پایین‌تری از پذیرش کلی را به‌خود اختصاص داد. Struck و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد مالتودکسترین محصول را در محدوده سطح روشن و سطح نرم قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربرد "مخلوط شیرین‌کننده" شامل استویا، اریتریتول و مالتودکسترین به جای شکر در تولید محصول دونات با درجه جانشینی ۱۰۰ درصد امکان‌سنجی شد و موفقیت‌آمیز بود. در مجموع دونات فاقد شکر (حاوی استویا، پلی‌ال اریتریتول و مالتودکسترین) به طور معنی‌داری حاوی رطوبت بالاتری نسبت به سایر تیمارها بود و اتلاف رطوبت آن کمتر بود ولی از نظر آماری با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. هیچکدام از شاخص‌های جذب روغن میان تیمارهای مورد آزمون طی حذف شکر اختلاف معنی‌دار نداشت. میانگین ارزیابی ماندگاری روزانه دونات فاقد شکر بهتر یا مشابه با دونات شاهد بود و دونات فاقد شکر نرمی بافت بسیار مطلوبی داشت. دونات فاقد شکر رنگ روشن‌تر در مقایسه با دونات شاهد داشت که به دلیل کاهش قند احیای در دسترس فرمولاسیون می‌باشد. حجم و تخلخل مناسب در دونات فاقد شکر مشاهده شد که این افزایش حجم اثر معنی‌داری در افزایش جذب روغن نداشت. جانشینی ۵۰ درصد مخلوط شیرین‌کننده به جای شکر اثرات مطلوب مورد نظر را، به گونه‌ای که از نظر کیفی توجیه‌پذیر باشد، ارائه نداد. ارزیابی حسی دونات فاقد شکر در مقایسه با نمونه حاوی شکر امتیازات بالاتری داشت و پذیرش کلی آن از نظر مصرف‌کننده مناسب بود. در ارزیابی حسی از نظر طعم هیچ‌گونه اثر نامطلوبی در فرمولاسیون فاقد شکر مشاهده نشد و ارزیاب‌ها طعم شیرینی دونات فاقد شکر را با دونات شاهد مشابه تشخیص دادند و در بیشتر موارد توانایی ایجاد تمایز میان دو نمونه را نداشتند. کاربرد مالتودکسترین به عنوان پرکننده در محصول دونات طی حذف شکر مناسب بود. بررسی مالتودکسترین‌ها با درجه معادل دکستروز مختلف به عنوان پرکننده طی حذف شکر در محصولات می‌تواند یک موضوع تحقیقاتی برای بهبود محصولات دیابتی باشد. بهبود خواص آیسینگ فاقد شکر می‌تواند از اهداف تحقیق و توسعه برای دونات فاقد شکر باشد. تحقیقات جهت حذف شکر در سایر محصولات پخت ضرورت دارد و می‌تواند مفید ارزیابی شود.

منابع

Akdeniz, N., Sahin, S., and Sumnu, G. (2005). Effects of different batter formulations on the quality of deep-fat-fried carrot slices. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 99-105.

Akesowan, A. (2009). Quality of reduced-fat chiffon cakes prepared with erythritol-sucralose as replacement for sugar. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1383-1386.

Anonymous (2006). Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, L 404/9 from 30.12.2006.

AOAC. (1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, Unites States.

Bajaj, S., Urooj, A., and Prabhasankar, P. (2006). Effect of incorporation of mint on texture, colour and sensory parameters of biscuits. *International Journal of Food Properties*, 9(4), 691-700.

---

۱ Maltitol

۲ Xylitol

Chatchavanthatri, N., Junyusen, T., Arjharn, W., Moolkaew, P., Sornsomboonsuk, S. (2019). Effects of replacement of sucrose by maltitol on the physicochemical and sensorial properties of rose apple jam. *International Journal of Food Engineering*, 5(2), 136-140.

Chronakis, I. S. (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 599-637.

Correa, D. A., Castillo, P. M., and Martelo, R. J. (2018). Immersion frying characterization of colombian donut. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(45), 2237 – 2247.

Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.

Dana, D., and Saguy, I. S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in colloid and interface science*, 128, 267-272.

Daniels, C. (2017). How to replace stevia for sugar in baking cakes. Healthy Eating | SF Gate, http://healthyeating.sfgate.com/replace-stevia-sugar-baking-cakes-3385.html. 20 July.

Dueik, V., Sobukola, O., and Bouchon, P. (2014). Development of low-fat gluten and starch fried matrices with high fiber content. LWT-*Food Science and Technology*, 59(1), 6-11.

Gasmalla, M. A. A., Yang, R., and Hua, X. (2014). Stevia rebaudiana Bertoni: an alternative sugar replacer and its application in food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(4), 150-162.

Ghosh, S., and Sudha, M. L. (2012). A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. International *Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(3), 372-379.

Gomez, M. (2008). Low-sugar and low-fat sweet goods. In: Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods (edited by S.G. Sumnu and S. Sahin) Pp. 245–273. *Boca Raton:* CRC Press.

Grenby, T. H. (1991). Intense sweeteners for the food industry: an overview. Trends in Food Science and Technology, 2, 2-6.

Kaur, S. (2018). Development of gluten free low calories Pancake (Doctoral dissertation, Lovely Professional University).

Kennedy, J. F., Knill, C. J., and Taylor, D. W. (1995). Maltodextrins. In Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives (pp. 65-82). Springer, Boston, MA.

Kulthe, A. A., Pawar, V. D., Kotecha, P. M., Chavan, U. D., and Bansode, V. V. (2014). Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 153-157.

Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Vouland, É., Dufossé, L., and Guérard, F. (2008). Kinetic study on the Maillard reaction. consideration of sugar reactivity. *Food Chemistry*, 111(4), 1032-1042.

Lim, S. M., Kim, J., Shim, J. Y., Imm, B. Y., Sung, M. H., and Imm, J. Y. (2012). Effect of poly-γ-glutamic acids (PGA) on oil uptake and sensory quality in doughnuts. *Food Science and Biotechnology*, 21(1), 247-252.

Lin, S. D., Lee, C. C., Mau, J. L., Lin, L. Y., & Chiou, S. Y. (2010). Effect of erythritol on quality characteristics of reduced-calorie danish cookies. *Journal of Food Quality*, 33, 14-26.

Manisha, G., Soumya, C., and Indrani, D. (2012). Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 363-373.

Mariotti, M., and Alamprese, C. (2012). About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. *LWT-Food Science and Technology*, 48(1), 9-15.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.

Melito, H., and Farkas, B. E. (2013). Physical properties of gluten-free donuts. Journal of Food Quality, 36(1), 32-40.

Mielea, N. A., Di Monaco, R., Masia, P., and Cavellaa, S. (2015). Reduced-calorie filling cream: Formula optimization and mechanical characterization. Chemical Engineering, 43.

Nabors, L.O. (2012). Alternative sweeteners: an overview. In: Alternative Sweeteners (edited by L.O. Nabors) pp. 1–10. Boca Raton: CRC Press.

Nsabimana, P., Powers, J. R., Chew, B., Mattinson, S., and Baik, B. K. (2018). Effects of deep-fat frying temperature on antioxidant properties of whole wheat doughnuts. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 665-675.

Nelson AL. (2000). Sweeteners: alternative. St. Paul: Egan Press.

Nip, W. K. (2006). Sweeteners. In: Bakery Products: Science and Technology (edited by Y.H. Hui) Pp. 137–159. Ames: Blackwell.

Parsons, M., Khan, M., Parsons, M., & Khan, M. (2013). Stop squeezing the jelly out of my donuts-krispy kreme case study. *Journal of Hospitality & Tourism Cases*, 2(2), 22-27.

Rodríguez-García, J., Salvador, A., and Hernando, I. (2014). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 964-974.

Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., and Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 487-494.

Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A., and Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549-555.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., and Kashaninejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, *14*(2), 383-397.

Sajilata, M. G., and Singhal, R. S. (2005). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers*, 59(2), 131-151.

Sarraf, M., Sani, A. M., and Atash, M. M. S. (2017). Physicochemical, organoleptic characteristics and image analysis of the doughnut enriched with oleaster flour. *Journal of Food Processing and Preservation,* 41(4), e13021.

Savita, S. M., Sheela, K., Sunanda, S., Shankar, A. G., and Ramakrishna, P. (2004). Stevia rebaudiana–A functional component for food industry. *Journal of Human Ecology*, 15(4), 261-264.

Savitha, Y. S., Indrani, D., and Prakash, J. (2008). Effect of replacement of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough biscuits. *Journal of Texture studies*, 39(6), 605-616.

Shahidi Noghabi. M., Niazmand, R. and Ghaeeni. Z. (2016). Effect of dry milk and Stevia sweetener amounts on the amount of acryl amide and chemical properties of donuts products. *Journal of Food Processing and Preservation,* 8(1), 41-65. doi: 10.22069/ejfpp.2016.3135.

Shih, F. F., Daigle, K. W., and Clawson, E. L. (2001). Development of low oil-uptake donuts. *Journal of Food Science*, 66(1), 141-144.

Storey, D., Lee, A., Bornet, F., and Brouns, F. J. P. H. (2007). Gastrointestinal tolerance of erythritol and xylitol ingested in a liquid. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(3), 349.

Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S., and Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. International *Journal of Food Science and Technology*, 49(9), 1963-1976.

Vélez-Ruiz, J. F., and Sosa-Morales, M. E. (2003). Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties,* 6(2), 341-353.

Wojdyło, A., Figiel, A., and Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1337-1343.

Zahn, S., Forker, A., Krügel, L., and Rohm, H. (2013). Combined use of rebaudioside A and fibres for partial sucrose replacement in muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 695-701.

Zhou, P., Guo, M., Liu, D., Liu, X., and Labuza, T. P. (2013). Maillard reaction induced modification and aggregation of proteins and hardening of texture in protein bar model systems. *Journal of Food Science*, 78(3), C437-C444.

Ziaiifar, A. M. and Sabbaghi, H. (2018). Frying process engineering, chapter 7: oil uptake reduction in frying process. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press.

Zoulias, E. I., Oreopoulou, V., and Kounalaki, E. (2002). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agricultur*e, 82(14), 1637-1644.

Zoulias, E. I., Piknis, S., and Oreopoulou, V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2049-2056.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 451-472

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۴۷۲-۴۵۱

Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin

H. Sabbaghi*

Received: 2020.07.02
Accepted: 2020.07.27

Introduction: Doughnut is one of the most widely consumed food products in the world due to its suitable organoleptic properties. Today, with the spread of diabetes and lifestyle changes, consumers are paying more attention to the use of sugar-free foods and dietary products. In the bakery products, sweeteners play an important role in providing moisture, sweetening, texture formation and increasing the shelf life of the final product. Sweeteners intended to replace sucrose should be water-soluble, with enough flavor, and cost-effective. Also, these compounds must also comply with national and international law. Stevia, which is composed of steviol and glycosides, is resistant to heat and pH and is not fermentable. Therefore, its amount should be chosen in such a way that it has no effect on cooking. In contrast, sweeteners containing dextrose and maltodextrin are also heat-resistant and can affect cooking and maintain the quality properties of fermentation. In order to use stevia in products as a substitute for sugar to maintain the formulation ratios, the fillers including low-calorie sweeteners such as erythritol and maltodextrin should be used. Therefore, in this study, the feasibility of producing sugar-free doughnuts as a dietary product was studied using stevia, erythritol and maltodextrin as sugar substitutes.

Materials and Methods: The low calorie sweetener blend (stevia, erythritol and maltodextrin) was designed in the first step. It was found that if 46.175 g of stevia and 1997.82 g of erythritol were mixed and homogenized, a mixture would be obtained with sweetness four times higher than sucrose. So, the "sweetener blend" was used for one-fourth of the sugar removal mass and the rest was compensated with filler as maltodextrin. Instead of sugar, this mixture was added with zero ratio (control), 50 (low sugar) and 100% (no sugar) in the formulation of doughnuts and icing. Evaluation of qualitative characteristic including moisture content, oil absorption, density, color and porosity ratio and sensory analysis for doughnuts were performedThe properties of shelf life, including soft tissue assessment, non-absorption of icing and non-growth of mold were also investigated within 14 days. Statistical analysis was performed in a completely randomized design ($p<0.05$).

Results and Discussion: The results showed that replacing 100% sugar in doughnuts was successful in terms of maintaining quality characteristics. The quality properties of doughnuts with 50% replacement (low sugar product) were not desirable. Sugar-free doughnuts had good quality properties (density, porosity, color and shell-life) compared to the control. Replacing the type of sweetener from sucrose to alcohol sugar can increase the moisture level of the product. As the amount of erythritol increased (no sugar sample), the texture became more moist and soft. The oil uptake of sugar-free doughnut did not show significant difference from the control sample and its sensory evaluation was so favorable. Maltodextrin could act as a bulking agent, stabilizer, and thickener agent in a sugar free formulation. Sugar free doughnuts had more brightness (L^*) and less redness (a^*), and its yellowness (b^*) did not show significant difference with the control sample. It can be said that because more air has penetrated in sugar free doughnut the brightness parameter (L^*) increased. The use of polyols (erythritol) results in a brighter color in the product, which is due to the lack of participation of polyols in the Millard reaction because they lack a reactive aldehyde group. The early development of the Millard reaction led to changes in hardness. Therefore, replacing reducing sugars with non-reducing compounds such as alcohol sugars in the formulation decreased tissue changes in the direction of hardening. Because of Millard reaction will reduce the sugars available as a plasticizer in the formulation. Sugar free doughnut showed suitable soft tissue during 14 days and indicated that sweetener has an effect on texture because it controls hydration and tends to disperse starch and protein molecules, thus preventing the formation of a continuous mass. No sugar doughnuts showed suitable sensory evaluation about color, taste, smell, texture, and overall acceptance. Therefore, a mixture of no-calorie and low-calorie sweeteners in this study can be used in the preparation of dietary doughnuts.

Keywords: Doughnut, Dietary, Stevia, Erythritol, Maltodextrin.

۱ Ph D. Graduated of Food Materials and Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
(*Corresponding Author Email: hassansabbaghi@gmail.com)